

Łódź, dn. 29 sierpnia 2026 r.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak
Instytut Klimatologii i Hydrologii
Wydział Nauk Geograficznych
Uniwersytet Łódzki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Kai Czarneckiej
pt. „Wpływ struktury przestrzennej i pokrycia terenu na warunki termiczne
i biotermiczne na przykładzie Warszawy”

Rozprawa doktorska Pani mgr Kai Czarneckiej zatytułowana „Wpływ struktury przestrzennej i pokrycia terenu na warunki termiczne i biotermiczne na przykładzie Warszawy”, napisana została pod kierunkiem dr hab. Magdy Kuchcik, prof. IGiPZ PAN oraz dr Katarzyny Lindner-Cendrowskiej w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Zagadnienia warunków termicznych i biotermicznych dużych aglomeracji miejskich którym poświęcona jest recenzowana rozprawa doktorska, stały się w ostatnich latach niezwykle istotne, głównie ze względu na wzrastającą częstość i intensywność fal upałów, których skutki mogą być wyjątkowo dotkliwe na terenach zurbanizowanych. Jednocześnie wzrastająca liczba mieszkańców miast oraz zwiększający się ich udział w całej populacji powodują, że zagrożenia te dotyczą coraz większej liczby osób. Dlatego problematyka ta jest obecnie przedmiotem wzmożonego zainteresowania zarówno środowisk naukowych, jak i przedstawicieli lokalnych władz i samorządów oraz mieszkańców. Chociaż ogólne mechanizmy modyfikacji pola temperatury przez tereny zabudowane są w skali całego miasta dosyć dobrze znane (zjawisko miejskiej wyspy ciepła), istnieje potrzeba bardziej szczegółowej oceny wpływu poszczególnych elementów środowiska miejskiego, typów zabudowy czy struktur urbanistycznych na kształtowanie się warunków termicznych i biotermicznych w charakterystycznej skali przestrzennej. Pogłębione badania tego typu umożliwiają opracowanie efektywnych strategii dostosowawczych i pozwalają, unikać nierzadko kosztownych, nieefektywnych działań opartych na zbyt ogólnych przesłankach lub wiedzy potocznej. Przedłożona do oceny rozprawa wpisuje się w powyższy nurt badawczy. Autorka wykorzystuje wyniki unikatowych badań terenowych oraz nowoczesne metody teledetekcyjne oparte na obrazowaniach satelitarnych w celu określenia wpływu struktury środowiska miejskiego na kształtowanie lokalnych warunków termicznych i biotermicznych w różnych skalach przestrzennych i czasowych.

Opis i ocena rozprawy pod względem formalnym

Przedstawiona do oceny dysertacja liczy 147 stron i składa się z trzech głównych części:

I. *Formalne elementy rozprawy doktorskiej* (strony 4–11), w tym streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, opis wkładu Autorki w poszczególne publikacje wchodzące w skład rozprawy i oświadczenia współautorów oraz zestawienie użytych skrótów;

II. *Część badawcza rozprawy doktorskiej* (strony 12–81) zawierająca usystematyzowane wyniki badań zawartych w artykułach stanowiących podstawę dysertacji opatrzone wprowadzeniem, w którym przedstawiono dotychczasowy stan badań i zdefiniowano cel główny, cele szczegółowe pracy i postawiono hipotezę badawczą. Właściwą analizę wyników poprzedzono szczegółowym opisem obszaru badań oraz materiałów i metod badawczych, natomiast na zakończenie przedstawiono podsumowanie oraz spis rycin, tabel i literatury;

III. *Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej* (strony 82–147):

P1: Czarnecka, K., Kuchcik, M., & Baranowski, J. (2024). Spatial development indicators as a tool to determine thermal conditions in an urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 100, 105014. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105014>

P2: Czarnecka, K. (2025). Surface temperature extremes in urban areas: distribution, morphological drivers and air temperature patterns. *Geographia Polonica*, 98(2), 149. <https://doi.org/10.7163/GPol.0297>

P3: Czarnecka, K., Kuchcik, M., Derwisz, K., Jarocińska, A., Kowalska, A., Lindner-Cendrowska, K., & Rabczenko, D. (2026). Assessing the role of environmental factors in shaping human thermal stress within urban parks during the growing season. *Building and Environment*, 296, 114506. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114506>.

Powyższa konstrukcja dysertacji nie budzi zastrzeżeń i pozwala na merytoryczną ocenę wiedzy i umiejętności Kandydatki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz rozwiązania postawionego problemu naukowego. Udział Doktorantki w publikacjach stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora jest jednoznacznie określony. Jedna z prac (P2) jest pracą autorską, natomiast w pozostałych dwóch Pani Kaja Czarnecka jest pierwszą autorką, a jej udział w ich przygotowaniu wynosi odpowiednio 80% (P1) i 60% (P3). Część II, będąca formą autoreferatu, napisana jest generalnie poprawną polszczyzną i charakteryzuje się jasnym, typowym dla tego typu tekstów układem treści.

Opis i ocena merytoryczna rozprawy

Pomimo pozornych rozbieżności analizowanych elementów, metod pomiarowych, zakresu czasowego i przestrzennego analiz, przedstawione do oceny artykuły tworzą spójny cykl badawczy, w którym Autorka konsekwentnie poszukuje ilościowych zależności pomiędzy strukturą przestrzenną miasta a warunkami termicznymi i biotermicznymi. Kolejne prace charakteryzuje stopniowe przechodzenie od klasycznych pomiarów temperatury powietrza, przez teledetekcyjną analizę temperatury powierzchni, do bezpośredniej oceny obciążenia termicznego człowieka.

Pierwsza z przedłożonych prac (P1) koncentruje się na określeniu związku pomiędzy wybranymi wskaźnikami zagospodarowania przestrzennego a warunkami termicznymi w Warszawie oraz na ustaleniu skali przestrzennej, w której zależności te są najlepiej widoczne. Analizę przeprowadzono dla 21 punktów pomiarowych warszawskiej sieci monitoringu temperatury powietrza, wykorzystując dane z czterech szczególnie ciepłych miesięcy. Dla otoczenia stanowisk, w promieniu 10, 50 i 100 m, określono pięć wskaźników opisujących m.in. intensywność i gęstość zabudowy, wysokość budynków oraz udział terenów biologicznie czynnych. Zestawiono je z 17 charakterystykami temperatury powietrza, obejmującymi m.in. temperaturę minimalną, maksymalną i średnią, częstość występowania wartości ekstremalnych oraz dynamikę zmian temperatury. Zastosowano analizę korelacji, analizę skupień oraz porównanie modeli liniowych i krzywoliniowych. Wykazano, że najsilniejsze związki z charakterystykami temperatury, szczególnie z temperaturą minimalną, wykazywał wskaźnik terenów biologicznie czynnych (RBVA). Stwierdzono jednocześnie, że większe znaczenie dla warunków termicznych ma otoczenie o promieniu około 100 m niż bezpośrednie sąsiedztwo stanowiska. Mocną stroną artykułu, szczególnie ze względu na praktyczne wykorzystanie wyników, jest powiązanie problemu klimatologicznego z parametrami stosowanymi w planowaniu przestrzennym.

Drugi artykuł (P2) stanowi rozszerzenie problematyki na temperaturę powierzchni terenu. W pracy tej Doktorantka skoncentrowała się na określeniu przestrzennego występowania termicznych „hot spotów” (THS) i „cold spotów” (TCS), identyfikacji typów pokrycia terenu i struktur urbanistycznych sprzyjających ich występowaniu oraz zbadaniu czy obszary te charakteryzują się odmiennymi warunkami temperatury powietrza. Analizę przeprowadzono na podstawie 25 zobrażeń Landsat z lat 2002–2018, które zestawiono z danymi temperatury powietrza z 21 punktów pomiarowych, wskaźnikami zagospodarowania przestrzennego oraz klasyfikacjami CORINE Land Cover i Local Climate Zones. Uzyskane

wyniki wskazują na wyraźnie odmienny charakter przestrzenny obu zjawisk. THS występowały przede wszystkim punktowo i były związane z pojedynczymi obiektami lub niewielkimi fragmentami przestrzeni, natomiast TCS tworzyły większe i bardziej ciągłe struktury, często związane z terenami zieleni oraz doliną Wisły. Analizy potwierdziły związki między częstością THS/TCS a morfologią miasta: THS wiązały się m.in. z wyższymi wartościami wskaźnika intensywności (FAR) i gęstości (BCR) zabudowy oraz niższym udziałem terenów biologicznie czynnych (RBVA) i większą odległością od centrum, podczas gdy zależności dla TCS miały w dużej mierze przeciwny charakter. Istotne znaczenie ma podkreślenie przez Autorkę faktu, że wysoka temperatura powierzchni nie musi oznaczać odpowiadająco wysokiej temperatury powietrza, a zastępowanie temperatury powietrza temperaturą powierzchni nie jest właściwe, szczególnie w badaniach ukierunkowanych na adaptację miasta i określanie zagrożeń termicznych mieszkańców.

Trzeci artykuł (P3) stanowi rozwinięcie wcześniejszych analiz w kierunku bioklimatologii człowieka. Jego celem była ocena wpływu elementów środowiska miejskiego na obciążenie termiczne człowieka w parkach Warszawy, z uwzględnieniem zmienności sezonowej i skali przestrzennej. Badania przeprowadzono w sześciu parkach, na 23 stanowiskach zlokalizowanych zarówno w miejscach nasłonecznionych, jak i zacienionych. Pomiary prowadzono wiosną, latem i jesienią w latach 2022–2024. Na podstawie temperatury powietrza, wilgotności, prędkości wiatru i temperatury termometru kulistego wyznaczano UTCI, a wyniki pomiarów terenowych porównano z wartościami uzyskanymi na podstawie danych z reanalizy ERA5-HEAT. Analizowano 14 wskaźników opisujących roślinność, zabudowę, geometrię przestrzeni i otoczenie parków, obliczonych dla skali punktowej oraz buforów 10, 50 i 100 m. Wyniki wykazały znaczne zróżnicowanie warunków biotermicznych zarówno pomiędzy parkami, jak i w ich obrębie. Szczególnie wyraźne były różnice pomiędzy stanowiskami nasłonecznionymi i zacienionymi latem, kiedy średnie różnice UTCI dochodziły do około 9,7°C, a maksymalne różnice przekraczały 11°C. W konsekwencji jednymi z najbardziej stabilnych determinant warunków biotermicznych okazały się ekspozycja na słońce i współczynnik widoku nieba (SVF).

Przedstawione artykuły dostarczają nowych ustaleń na temat kształtowania się lokalnych warunków termicznych i biotermicznych na obszarze Warszawy, a większość z prezentowanych ustaleń może być stosowana również do analizy innych terenów zurbanizowanych. Dzięki konsekwentnej spójności tematycznej cykl ten może zostać uznany za rozwiązanie konkretnego problemu badawczego z jasno i precyzyjnie sformułowanymi

celami badawczymi realizowanymi w kolejnych publikacjach. Jako najciekawsze ustalenia pracy uważam:

- określenie wskaźników użytkowania terenu w największym stopniu determinujących lokalne warunki termiczne;
- wykazanie, że tereny zieleni miejskiej nie stanowią jednorodnych „oaz chłodu”, a obciążenia termiczne człowieka zależą od struktury wewnętrznej parku oraz jego otoczenia;
- wykazanie, że baza danych reanalizy klimatycznej ERA5-HEAT może stanowić wartościowe tło odniesienia dla badań miejskich obciążeń termicznych, umożliwiając identyfikację odchyleń uniwersalnego wskaźnika obciążeń termicznych człowieka (UTCI) wyznaczanego na podstawie lokalnych danych pomiarowych.

W dobie dosyć powszechnego, błędnego utożsamiania powierzchniowej (satelitarnej) miejskiej wyspy ciepła z rozkładem temperatury powietrza w godzinach dziennych w mieście jako bardzo istotne uważam podkreślenie przez Autorkę, że „najłatwiej dostępne źródła danych termicznych (zobrazowania satelitarne, stacje pomiarowe WMO) nie zawsze pozwalają na trafną identyfikację elementów środowiska wymagających interwencji”. Natomiast w obliczu często bezkrytycznego ukierunkowania wielu działań adaptacyjnych miast na ograniczanie miejskiej wyspy ciepła dużego znaczenia nabiera stwierdzenie, że w przypadku obciążeń termicznych człowieka szczególnie istotna jest „zdolność środowiska miejskiego do zapewnienia zacienienia i ograniczania ekspozycji na promieniowanie słoneczne”.

Zarówno w artykułach, jak i w autoreferacie, Doktorantka w sposób swobodny i adekwatny odnosi się do literatury krajowej i zagranicznej, co potwierdza Jej ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej. Stosowanie zaawansowanych metod statystycznych dodatkowo potwierdza jej umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Przedstawione artykuły opublikowane zostały w uznanych czasopismach naukowych, co, ze względu na obowiązujące procedury recenzowania przez niezależnych ekspertów, jest gwarantem wysokiego poziomu naukowego. Dlatego w pracy można znaleźć jedynie kilka kwestii dyskusyjnych:

1) W pracy P1 dla otoczenia stanowisk, w promieniu 10, 50 i 100 m, określono pięć wskaźników: wskaźnik intensywności (FAR) i gęstości (BCR) zabudowy, maksymalna (BH_{max}) i minimalna (BH_{min}) wysokość budynków oraz udział terenów biologicznie czynnych (RBVA). Zachodzi pytanie, jak wskaźniki te wyznaczyć dla koła o promieniu 10 m, a jeśli nawet uda się to zrobić technicznie, czy mają one w tym wypadku jakiś sens fizyczny?

2) Przeprowadzone w pracy P1 badania optymalnego rozmiaru obszaru wpływającego na lokalną temperaturę w punkcie pomiarowym są w pewnym sensie niepełne. Wykazano, że wraz ze wzrostem promienia otoczenia stanowiska od 10 m do 100 m wzrasta korelacja wybranych wskaźników z temperaturą. Nie oznacza to jednak, że bufor 100 m jest optymalny. Wniosek taki byłby uprawniony, gdyby przeprowadzono dodatkowo analizy dla promieni np. 200 m i 500 m, znajdując maksimum korelacji dla 100 m. Obecne wyniki wskazują jedynie, że im większy promień, tym silniejsze zależności.

3) Analizy termicznych „hot spotów” (THS) i „cold spotów” (TCS) temperatury powierzchni przeprowadzono dla godzin dziennych, dla których związek między temperaturą powierzchni a temperaturą powietrza mierzoną na standardowej wysokości jest niewielki, co słusznie podkreślono w rozprawie. Dlatego niewielkie jest też praktyczne znaczenie otrzymanych wyników. Analiza byłaby pełniejsza, gdyby podobne badania przeprowadzić dla godzin nocnych, dla których na obszarach miejskich rozkład przestrzenny temperatury powietrza i temperatury powierzchni jest zdecydowanie bardziej skorelowany. Ponadto w przypadku niektórych typów powierzchni wysoce prawdopodobna jest zmiana dziennych „hot spotów” w nocne „cold spoty” i odwrotnie. Dlatego dopiero komplementarna analiza warunków dziennych i nocnych dałaby pełny obraz uwarunkowań termicznych różnych obszarów miasta.

Wniosek końcowy

Zgodnie z obowiązującą Ustawą rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Przedstawione wyżej argumenty dowodzą, że rozprawa doktorska Pani mgr Kai Czarneckiej zatytułowana „Wpływ struktury przestrzennej i pokrycia terenu na warunki termiczne i biotermiczne na przykładzie Warszawy” w pełni spełnia te wymagania. Wobec powyższego wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN o przyjęcie pracy jako rozprawy na stopień doktora oraz o dopuszczenie Pani mgr Kai Czarneckiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak